



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 12 480 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
G 02 B 27/09
H 01 S 5/40
H 01 S 5/42

⑳ Aktenzeichen: 100 12 480.1
㉔ Anmeldetag: 15. 3. 2000
㉓ Offenlegungstag: 27. 9. 2001

DE 100 12 480 A 1

㉗ Anmelder:
Laserline Gesellschaft für Entwicklung und Vertrieb
von Diodenlasern mbH, 56070 Koblenz, DE

㉘ Vertreter:
Patentanwälte Wasmeier, Graf, 93055 Regensburg

⑤② Zusatz zu: 199 18 444.5

㉚ Erfinder:
Krause, Volker, 56203 Höhr-Grenzhausen, DE;
Ullmann, Christoph, Dr., 53604 Bad Honnef, DE;
Kösters, Arnd, 55413 Weiler, DE; Rehmann, Georg,
56203 Höhr-Grenzhausen, DE

⑤⑤ Entgegenhaltungen:
DE 197 43 322 A1
EP 08 63 588 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Laseroptik sowie Diodenlaser mit einer solchen Optik

⑤⑦ Die Erfindung bezieht sich auf eine neuartige Laseroptik sowie auf einen neuartigen Diodenlaser mit einer solchen Optik.

DE 100 12 480 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf eine Laseroptik gemäß Oberbegriff Patentanspruch 1 sowie auf einen Diodenlaser mit einer solchen Optik gemäß Oberbegriff Patentanspruch 17.

Im Gegensatz zu konventionellen Laserstrahlquellen, die einen Strahldurchmesser von einigen mm bei einer geringen Strahldivergenz im Bereich von wenigen mrad aufweisen, zeichnet sich die Strahlung eines Halbleiter-Diodenlaser (nachstehend auch "Diodenlaser") durch einen stark divergenten Strahl mit einer Divergenz > 1000 mrad aus. Hervorgerufen wird dies von der auf $< 1 \mu\text{m}$ Höhe begrenzten Austrittsschicht, an der ähnlich der Beugung an einer spaltförmigen Öffnung, ein großer Divergenzwinkel erzeugt wird. Da die Ausdehnung der Austrittsöffnung in der Ebene senkrecht und parallel zur aktiven Halbleiterschicht unterschiedlich ist, kommen verschiedene Strahldivergenzen in der Ebene senkrecht und parallel zur aktiven Schicht zustande.

Um eine Leistung von 20–60 W für einen Diodenlaser zu erreichen, werden zahlreiche Laserchips auf einem sog. Barren zu einem Laserbauelement zusammengefaßt. Üblicherweise werden hierbei 10–50 einzelne Emittiergruppen in einer Reihe in der Ebene parallel zur aktiven Schicht angeordnet. Der resultierende Strahl eines solchen Barrens hat in der Ebene parallel zur aktiven Schicht einen Öffnungswinkel von ca. 10° und einen Strahldurchmesser von ca. 10 mm. Die resultierende Strahlqualität in dieser Ebene ist um ein Vielfaches geringer als die sich ergebende Strahlqualität in der zuvor beschriebenen Ebene senkrecht zur aktiven Schicht. Auch bei einer möglichen zukünftigen Verringerung der Divergenzwinkel von Laser-Chips bleibt das stark unterschiedliche Verhältnis der Strahlqualität senkrecht und parallel zur aktiven Schicht bestehen.

Der Strahl verfügt aufgrund der zuvor beschriebenen Strahlcharakteristik über einen großen Unterschied der Strahlqualität in beiden Richtungen senkrecht und parallel zur aktiven Schicht. Der Begriff der Strahlqualität wird dabei beschrieben durch den M^2 Parameter. M^2 ist definiert durch den Faktor, mit dem die Strahldivergenz des Diodenlaserstrahles über der Strahldivergenz eines beugungsbegrenzten Strahles gleichen Durchmessers liegt. In dem oben gezeigten Fall verfügt man in der Ebene parallel zur aktiven Schicht über einen Strahldurchmesser, der um den Faktor 10.000 über dem Strahldurchmesser in der senkrechten Ebene liegt. Bei der Strahldivergenz verhält es sich anders, d. h. in der Ebene parallel zur aktiven Schicht wird eine fast 10-fach kleinere Strahldivergenz erreicht. Der M^2 Parameter in der Ebene parallel zur aktiven Schicht liegt also um mehrere Größenordnungen über dem M^2 Wert in der Ebene senkrecht zur aktiven Schicht.

Ein mögliches Ziel einer Strahlformung ist es, einen Strahl mit nahezu gleichen M^2 Werten in beiden Ebenen, d. h. senkrecht und parallel zur aktiven Schicht zu erreichen. Bekannt sind derzeit folgende Verfahren zur Umformung der Strahlgeometrie durch die eine Annäherung der Strahlqualitäten in den beiden Hauptebenen des Strahles erreicht wird.

Mittels eines Faserbündels lassen sich linienförmige Strahlquerschnitte durch Umordnen der Fasern zu einem kreisrunden Bündel zusammenfassen. Solche Verfahren sind z. B. in den US-Patentschriften 5 127 068, 4 763 975, 4 818 062, 5 268 978 sowie 5 258 989 beschrieben.

Daneben besteht die Technik des Strahldrehens, bei dem die Strahlung einzelner Emittier um 90° gedreht wird, um so eine Umordnung vorzunehmen bei der eine Anordnung der Strahlen in Richtung der Achse der besseren Strahlqualität erfolgt. Zu diesem Verfahren sind folgende Anordnungen

bekannt: US 5 168 401, EP 0 484 276, DE 44 38 368. Allen Verfahren ist gemein, daß die Strahlung eines Diodenlasers nach dessen Kollimation in der Fast-Axis-Richtung, um 90° gedreht wird um eine Slow-Axis-Kollimation mit einer gemeinsamen Zylinderoptik vorzunehmen. In Abwandlung der genannten Verfahren ist auch eine durchgehende Linienquelle denkbar (z. B. die eines in Fast-Axis-Richtung kollimierten Diodenlasers hoher Belegungsichte), deren Strahlprofil (Linie) aufgeteilt wird und in ungeordneter Form hinter dem optischen Element vorliegt.

Daneben besteht die Möglichkeit, ohne eine Drehung des Strahles eine Umordnung der Strahlung einzelner Emittier vorzunehmen, wobei durch z. B. durch den parallelen Versatz (Verschieben) mittels paralleler Spiegel eine Umordnung der Strahlung erreicht wird (WO 95/15510). Eine Anordnung, die sich ebenfalls der Technik des Umordnens bedient, ist in DE 19 50 053 und DE 195 44 488 beschrieben. Hierbei wird die Strahlung eines Diodenlasers in verschiedene Ebenen abgelenkt und dort einzeln kollimiert.

Die Nachteile des Standes der Technik lassen sich u. a. dahingehend zusammenfassen, daß bei fasergekoppelten Diodenlasern meist ein Strahl mit sehr unterschiedlichen Strahlqualitäten in beiden Achsrichtungen in die Faser eingekoppelt wird. Bei einer kreisrunden Faser bedeutet dies, daß in einer Achsrichtung die mögliche numerische Apertur oder der Faserdurchmesser nicht genutzt wird. Dies führt zu erheblichen Verlusten bei der Leistungsdichte, so daß in der Praxis eine Beschränkung auf ca. 10^6 W/cm^2 erfolgt.

Bei den genannten bekannten Verfahren müssen weiterhin teilweise erhebliche Weglängenunterschiede kompensiert werden. Dies geschieht meist durch Korrekturprismen, die Fehler nur begrenzt ausgleichen können. Vielfachreflexionen stellen weiterhin erhöhte Anforderungen an Justagegenauigkeit, Fertigungstoleranzen sowie Bauteilstabilität (WO 95/15510). Reflektierende Optiken (z. B. aus Kupfer) verfügen über hohe Absorptionswerte.

Bekannt ist auch eine Laseroptik mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Patentanspruches 1 (EP 0 863 588). Bei dieser bekannten Laseroptik wird der einen linien- oder bandförmigen Querschnitt aufweisende Laserstrahl einer Emittiergruppe bzw. eines Laserbarrens in Teilstrahlen aufgefächert, die in unterschiedlichen, parallelen Ebenen liegen. Diese Einzel- bzw. Teilstrahlen werden dann in einem zweiten Umformelement so übereinandergeschoben, daß sich bereits hierdurch ein konzentrierterer Strahldurchmesser und damit eine höhere Leistungsdichte ergeben.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Laseroptik bzw. einen Diodenlaser für eine erhöhte Leistung zu schaffen.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist eine Laseroptik entsprechend dem Patentanspruch 1 und ein Diodenlaser entsprechend dem Patentanspruch 17 ausgebildet.

Die Besonderheit der Erfindung besteht darin, daß wenigstens zwei, vorzugsweise aber mehr als zwei Emittierebenen mit jeweils wenigstens einer eine Vielzahl von Emittiern bzw. Dioden aufweisenden Emittiergruppe vorgesehen sind, und daß die Laserstrahlung jeder Emittiergruppe durch das erste Umformelement so aufgefächert wird, daß für jede Emittiergruppe eine eigene Teilstrahlgruppe mit Teilstrahlen erhalten wird, die in zwei senkrecht zur Strahlungsrichtung verlaufenden Achsen gegeneinander versetzt sind. Die Teilstrahlgruppen schließen in einer ersten Achse aneinander an, und zwar vorzugsweise ohne Abstand oder Zwischenraum zwischen diesen Teilstrahlgruppen. Durch das zweite Umformelement könnten dann sämtliche Teilstrahlen sämtlicher Gruppen durch Verschieben in der ersten Achse, die auch die Achse ist, in der die Emittier der Emittiergruppen aufeinander folgen oder dieser Achse entspricht, übereinandergeschoben, so daß diese Teilstrahlen einen gemeinsamen

umgeformten Laserstrahl bilden, der beispielsweise einen balkenförmigen Querschnitt mit einer Breite besitzt, die derjenigen Länge entspricht, die die Teilstrahlen in der ersten Achse aufweisen, und der in einer Fokussieroptik in einen Fokus fokussiert werden kann.

Als Umformelemente werden vorzugsweise Plattenfächer verwendet. Unter "Plattenfächer" ist im Sinne der Erfindung ein vom Laserlicht durchstrahltes optisches Element zu verstehen, welches sich aus mehreren Platten oder plattenförmigen Elementen aus einem lichtleitenden Material, vorzugsweise Glas, zusammensetzt, die stapelartig aneinander anschließen und fächerartig gegen einander verdreht sind, und zwar um wenigstens eine senkrecht zur Plattenebene verlaufenden Fächerachse. Jede Platte oder jedes plattenförmige Element bildet an einander gegenüberliegenden Seiten eine Plattenschmalseite für den Lichteintritt oder -austritt und ist so ausgebildet, daß im Platten-Inneren im Bereich der Oberflächenseiten eine Totalreflexion erfolgt.

Unter "Oberflächenseiten" sind im Sinne der Erfindung jeweils die großen Plattenseiten zu verstehen. Unter "Schmalseiten" sind im Sinne der Erfindung die am Plattenrand zwischen den Oberflächenseiten gebildeten Seiten zu verstehen.

Der Plattenfächer kann durch Zusammensetzen aus einzelnen Platten oder plattenförmigen Elementen oder aber auch einstückig, beispielsweise als Formteil mit entsprechenden Zwischenschichten für die Totalreflexion, hergestellt sein.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren an Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 in vereinfachter Darstellung einen Diodenlaser, bestehend aus einer mehrere Laser-Chips oder -barren aufweisenden Laserdiodenanordnung und einer Laseroptik zur Umformung der Laserstrahlen, wobei die Zeichenebene dieser Figur senkrecht zur aktiven Schicht der Laserbarren liegt;

Fig. 2 den Diodenlaser der Fig. 1, allerdings in einer Darstellung, in der die Zeichenebene dieser Figur parallel zur aktiven Schicht der Diodenelemente liegt, wobei die Divergenz der Laserstrahlen in der Slow-Achse aus Gründen der übersichtlicheren Darstellung und besseren Erläuterung wegen übertrieben dargestellt ist;

Fig. 3 in den Positionen a, b und c jeweils in vereinfachter Darstellung die Ausbildung des Laserstrahls an verschiedenen Positionen innerhalb der Laseroptik der Fig. 1 und 2;

Fig. 4 und 5 in Darstellungen ähnlich den Fig. 1 und 2 eine zweite mögliche Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 6 in den Position a, b und c jeweils in vereinfachter Darstellung die Ausbildung des Laserstrahls an verschiedenen Positionen innerhalb der Laseroptik der Fig. 4 und 5;

Fig. 7 und 8 in Darstellungen ähnlich den Fig. 1 und 2 einen Diodenlaser gemäß einer dritten möglichen Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 9 und 10 in Darstellungen ähnlich den Fig. 4 und 5 einen Diodenlaser gemäß einer vierten möglichen Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 11 und 12 in Darstellungen ähnlich Fig. 4 und 5 einen Diodenlaser gemäß einer fünften möglichen Ausführungsform der Erfindung.

In den Figuren sind der besseren Übersichtlichkeit wegen jeweils mit X, Y und Z senkrecht zueinander verlaufende Raumachsen, nämlich die X-Achse, Y-Achse und Z-Achse bezeichnet. Die Zeichenebene der Fig. 1 liegt dementsprechend in der von der Y-Achse und der Z-Achse definierten Y-Z-Ebene, die Zeichenebene der Fig. 2 in der X-Z-Ebene und die Zeichenebene der Fig. 3 in der X-Y-Ebene.

Der in den Fig. 1-3 dargestellte Diodenlaser 1 besteht im wesentlichen aus einer Diodenlaseranordnung 2, die meh-

rere jeweils an einem u. a. als Wärmesenke ausgebildeten Substrat 3 vorgesehene Laserbauelemente bzw. -barren 4 aufweist. Jeder Laserbarren 4 besitzt eine Vielzahl von Laserlicht aussendenden Diodenelementen oder Emittoren, die gleichsinnig orientiert und in jedem Laserbarren 4 in Richtung der X-Achse gegeneinander versetzt sind sowie insbesondere auch mit ihren aktiven Schichten in einer gemeinsamen Ebene senkrecht zur Zeichenebene der Fig. 1 bzw. parallel zur Zeichenebene der Fig. 2 liegen, d. h. bei der für die Figuren gewählten Darstellung in der X-Z-Ebene.

Weiterhin sind die Laserbarren 4 parallel zueinander und in Richtung der Y-Achse um einen vorgegebenen Betrag y voneinander beabstandet. Dieser Abstand ergibt sich u. a. konstruktiv durch die Dicke, die die Substrate 3 in dieser Achsrichtung aufweisen.

Der Diodenlaser 1 umfaßt weiterhin die nachstehend näher beschriebene Laseroptik 8, mit der die Laserstrahlung der einzelnen Laserbarren 4 in einem gemeinsamen Fokus 5 fokussiert wird. Diese Laseroptik 8 umfaßt u. a. Fast-Axis-Kollimatoren 6, von denen jeweils einer jedem Laserbarren 4 zugeordnet ist und die jeweils eine Kollimation des Laserstrahls 7 des zugehörigen Laserbarrens 4 in der Fast-Axis, d. h. in der Y-Achse und damit in der Y-Z-Ebene senkrecht zur aktiven Schicht bewirken, in der der Laserstrahl der Emittor des betreffenden Laserbarrens 4 die größere Divergenz aufweist. Bei der dargestellten Ausführungsform sind die Fast-Axis-Kollimatoren 6 jeweils von einer Mikrolinse, nämlich von einer Zylinderlinse gebildet, die mit ihrer Achse in der X-Achse liegt. Nach dem Durchtritt durch den Fast-Axis-Kollimator 6 steht der Laserstrahl 7 jedes Laserbarrens im wesentlichen als schmalbandiger Strahl zur Verfügung, dessen größere Abmessung x in der X-Achse liegt, wie dies in der Fig. 3 in der Position a angegeben ist.

Auf die Fast-Axis-Kollimatoren 6 in Richtung der optischen Achse (Z-Achse) folgend weist die Laseroptik 8 im Strahlengang der Laserstrahlen 7 eine optische Anordnung zum weiteren Formen der Laserstrahlen auf, und zwar in der Weise, daß in einem ersten Umformelement, welches für die Laserstrahlen 7 sämtlicher Laserbarren 4 gemeinsam vorgesehen ist, jeder Laserstrahl 7 zunächst in Teilstrahlen 7' zerlegt wird, die in verschiedenen Ebenen parallel zur X-Z-Ebene aufgefächert und von Ebene zu Ebene in der X-Achse gegeneinander versetzt sind, wie dies in der Position b der Fig. 3 dargestellt ist. Diese Darstellung zeigt auch, daß die Teilstrahlen 7' jedes Laserbarrens 4 jeweils eine Teilstrahlgruppe 9 von aufgefächerten Teilstrahlen 7' bildet, wobei die Anzahl der Gruppen 9 gleich der Anzahl der Laserbarren 4 bzw. der Emitterebenen der Laserdiodenanordnung 2 ist, in denen die Laserbarren 4 angeordnet sind. Jede Gruppe 9 besitzt weiterhin in Richtung der Y-Achse eine Höhe y', die dem Abstand y entspricht. Weiterhin schließen die Gruppen 9 bei der dargestellten Ausführungsform unmittelbar aneinander an, d. h. der Abstand zwischen der Ebene des letzten Teilstrahls 7' einer Gruppe 9 und der Ebene des ersten Teilstrahls 7' der nächsten Gruppe 9 ist gleich oder im wesentlichen gleich dem Abstand, den die Ebenen der Teilstrahlen 7' innerhalb jeder Gruppe 9 voneinander aufweisen. Die Abmessung x', die die Teilstrahlen 7' in den Gruppen 9 in der X-Achse aufweisen, ist gleich oder etwa gleich der Abmessung x dividiert durch die Anzahl der Teilstrahlen 7' je Gruppe 9.

Bei der dargestellten Ausführungsform ist jeder Laserstrahl 7 in fünf Teilstrahlen 7' aufgefächert, so daß bei insgesamt drei Gruppen insgesamt fünfzehn Teilstrahlen 7' erhalten sind.

In einem nächsten Schritt wird in der Laseroptik 8 eine Umformung der Teilstrahlen 7' derart vorgenommen, daß diese Teilstrahlen 7' in ihrer X-Z-Ebene übereinanderge-

schoben werden, so daß die Teilstrahlen 7' deckungsgleich liegen und einen umgeformten balkenförmigen Laserstrahl 7'' bilden, wie dies in der Position c der Fig. 3 angedeutet ist. Dieser Laserstrahl 7'' besitzt dann in Richtung der Y-Achse seine größere Abmessung y'' , die der Höhe y' multipliziert mit der Anzahl der Gruppen 9 entspricht. Die Breite des Laserstrahls 7'' ist gleich der Abmessung x' der Teilstrahlen 7'. Der balkenförmige Laserstrahl 7'' wird dann anschließend in einer Fokussieranordnung 10 im Fokus 5 fokussiert.

Das vorstehend beschriebene Prinzip der Strahl-Umformung hat u. a. den Vorteil, daß die Laserstrahlung einer Vielzahl von Laserbarren 4, die in Richtung der Y-Achse gegeneinander versetzt in der Laserdiodenanordnung 2 vorgesehen sind, in dem gemeinsamen Fokus 5 fokussiert werden kann, somit also bei hoher Strahlqualität eine hohe Leistungsdichte erzielbar ist, wobei der konstruktiv notwendige und nicht vermeidbare Abstand y zwischen den einzelnen Ebenen, in denen die Laserbarren 4 angeordnet sind, für das Umformen genutzt wird. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die Laseroptik 8 und insbesondere auch deren Umformelemente sehr einfach und damit auch preiswert realisiert werden können.

Als erstes Umformelement enthält die Laseroptik 8 im Strahlengang auf die Fast-Axis-Kollimatoren 6 folgend einen ersten Plattenfächer 11, der aus einer Vielzahl von dünnen Platten 12 aus einem lichtleitendes Material, beispielsweise aus Glas hergestellt ist. Bei der dargestellten Ausführungsform weisen die Platten 12 einen quadratischen Zugschnitt auf. Jede Platte 12 besitzt zwei plane Plattenseiten 13 und 14, die optisch hochwertig ausgebildet, d. h. poliert und mit einer Anti-Reflexionsschicht versehen sind und von denen die Schmalseite 13 den Lichteintritt und die Schmalseite 14 den Lichtaustritt bilden. Die Platten 12 schließen mit ihren Oberflächenseiten, die ebenfalls poliert sind, stapelartig aneinander an. Zwischen benachbarten Platten 12 ist beispielsweise Luft oder ein Medium vorgesehen, welches die Platten verbindet und zugleich eine Totalreflexion des Laserlichtes innerhalb der Platten 12 an deren Oberflächenseiten sicherstellt. Die Platten 12, die mit ihren Oberflächenseiten jeweils in der Y-Z-Ebene angeordnet sind, sind um wenigstens eine Fächerachse fächerartig gegeneinander verdreht oder aufgefächert, und zwar derart, daß die Ebenen der Plattenschmalseiten 13 bzw. 14 zweier benachbarten Platten einen Winkel miteinander einschließen, der z. B. in der Größenordnung von 1 bis 5° liegt. Die einzelnen Platten 12 sind jeweils von Platte zu Platte in gleichem Richtungssinn um die Fächerachse zueinander verdreht. Die Dicke der Platten 12 beträgt beispielsweise 1 mm. Durch die Platten 12 erfolgt das Auffächern der Laserstrahlen 7 sämtlicher Laserbarren 4 in die Teilstrahlen 7' bzw. in die einzelnen Gruppen 9, wobei die Anzahl der Platten 12 die Anzahl der Teilstrahlen 7' in jeder Gruppe 9 bestimmt, d. h. bei der dargestellten Ausführungsform weist der Plattenfächer 11 insgesamt fünf Platten 12 auf. Die Ausbildung und Anordnung des Plattenfächers 12 sind weiterhin so getroffen, daß die parallel zu den Oberflächenseiten der Platten 12 liegende Mittelebene des Plattenfächers 11 mit der Y-Z-Mittelebene der Laserstrahlen 7 zusammenfällt und daß weiterhin die Ebene, in der die wenigstens eine Fächerachse liegt, eine X-Z-Ebene ist, und zwar die Mittel- oder Symmetrieebene sämtlicher von der Laserdiodenanordnung 2 ausgehender Laserstrahlen 7.

Zum Umformen der Teilstrahlen 7' in den Laserstrahl 7'' ist im Strahlengang auf dem Plattenfächer 12 folgend ein weiterer Plattenfächer 15 vorgesehen. Dieser Plattenfächer 15 besteht aus mehreren Einzelplattenfächern 15', die in Richtung der Y-Achse aneinander anschließen, wobei die Anzahl der Einzelplattenfächer 15' gleich der Anzahl der Gruppen 9 und damit gleich der Anzahl der Ebenen ist, in

denen in der Laserdiodenanordnung 2 Laserbarren 4 vorgesehen sind. Bei der dargestellten Ausführungsform weist somit der Plattenfächer 15 drei Einzelplattenfächer 15' auf. Jeder Einzelplattenfächer 15' besteht wiederum aus mehreren Platten 12, die stapelartig aneinander anschließen und fächerartig gegeneinander verdreht sind, und zwar um wenigstens eine Fächerachse, d. h. jeder Einzelplattenfächer 15' besitzt im wesentlichen die Ausbildung, wie sie vorstehend für den Plattenfächer 11 beschrieben wurde.

Die Platten 12 der Einzelplattenfächer 15 sind aber mit ihren Oberflächenseiten in der X-Z-Ebene angeordnet, d. h. in einer Ebene, die um 90° gegenüber der Ebene der Platten 12 des Plattenfächers 11 um die Z-Achse gedreht ist. Die Anzahl der Platten 12 in jedem Einzelplattenfächer 15' ist gleich der Anzahl der Teilstrahlen 7' in jeder Gruppe 9 und damit gleich der Anzahl der Platten 12 im Plattenfächer 11. Der Plattenfächer 15 kann also im Prinzip unter Verwendung der gleichen Platten 12 wie der Plattenfächer 11 hergestellt werden. Bei einer entsprechenden Ausbildung ist es weiterhin auch möglich, den Plattenfächer 15 durch Über-einanderstapeln mehrerer Plattenfächer 11 zu realisieren.

Die Anzahl der Platten 12 in dem Plattenfächer 15 ist somit gleich der Anzahl der Platten 12 im Plattenfächer 11 multipliziert mit der Anzahl der Ebenen, in denen in der Laserdiodenanordnung 2 Laserbarren 4 in der Y-Achse gegeneinander versetzt vorgesehen sind.

Während durch die fächerartige Anordnung der Platten 12 im Plattenfächer 11 das Auffächern der Laserstrahlen 7 in die Teilstrahlen 7' jeder Gruppe 9 erfolgt, werden durch den Plattenfächer 15 die Teilstrahlen 7' in der X-Achse übereinander geschoben und in den Strahl 7'' umgeformt.

Die Fokussieranordnung 10 ist bei der dargestellten Ausführungsform von einer Zylinderlinse 16 gebildet, die auf dem Plattenfächer 15 folgt u. a. eine Kollimation des Strahls 7'' in der Slow-Axis, d. h. in der X-Achse bewirkt, so daß im Strahlengang nach der Zylinderlinse 16 eine im wesentlichen parallele Strahlung vorliegt, die dann mit der Sammellinse 17 in dem Fokus 5 fokussiert wird.

Laufzeitunterschiede, insbesondere auch in den Teilstrahlen 7' können durch Verschieben der einzelnen Platten 12 des jeweiligen Plattenfächers relativ zueinander in der optischen Achse oder aber durch unterschiedliche Abmessungen der Platten 12 (Abstand zwischen den Stirnflächen 13 und 14) ausgeglichen werden.

Die Fig. 4 und 5 zeigen als weitere mögliche Ausführungsform einen Diodenlaser 1a, der sich von dem Diodenlaser 1 im wesentlichen nur dadurch unterscheidet, daß die dortige Laserdiodenanordnung 2a eine höhere Anzahl an Laserbarren 4 aufweist, und zwar insgesamt vier Laserbarren 4, wobei das erste Umformelement der Laseroptik 8a von zwei Plattenfächern 11a gebildet ist, von denen jeweils ein Plattenfächer 11a zwei Laserbarren 4 bzw. Emitterebenen (X-Z-Ebenen) zugeordnet ist. Die beiden Plattenfächer 11a sind bei der Laseroptik 8a identisch ausgebildet.

Da bei dieser Ausführung entsprechende Anzahl der Laserbarren 4 bzw. der Laserstrahlen 7 (auch Fig. 6 Position a) durch die beiden Plattenfächer 11a insgesamt vier Gruppen 9 von aufgefächerten Teilstrahlen 7' gebildet werden (Fig. 6 Position b), weist auch das zweite Umformelement, d. h. der dieses zweite Umformelement bildende Plattenfächer 15a insgesamt vier Einzelplattenfächer 15' auf. Die Anzahl der Platten 12 in dem Plattenfächer 15a ist wiederum gleich der Anzahl der Laserbarren 4 bzw. Emitterebenen multipliziert mit der Anzahl der Teilstrahlen 7' je Teilstrahlgruppe 9, d. h. multipliziert mit der Anzahl der Platten 12 eines der beiden Plattenfächer 11a.

Die Fig. 7 und 8 zeigen als weitere mögliche Ausführungsform einen Diodenlaser 1b, der sich von dem Dioden-

laser 1 im wesentlichen nur dadurch unterscheidet, daß die Slow-Axis-Kollimation nicht durch die Zylinderlinse 16 erfolgt, die im Strahlengang nach dem zweiten Plattenfächer 15b erfolgt, sondern durch ein Mikrolinsen-Arrey 18, welches im Strahlengang unmittelbar vor dem ersten Plattenfächer 11b angeordnet ist.

Die in den Fig. 7 und 8 allgemein mit 8b bezeichnete Laseroptik weist somit folgende Elemente auf, die – ausgehend von der der Laserdiodenanordnung 2a entsprechenden Laserdiodenanordnung 2b – in der nachstehenden Reihenfolge aneinander anschließen:

- Fast-Axis-Kollimatoren 6, und zwar jeweils einer für jede Emitterebene bzw. für jeden Laserbarren 4;
- Mikrolinsen-Arrey 18 zur Slow-Axis-Kollimation;
- Plattenfächer 11b, der hinsichtlich Ausbildung und Anordnung dem Plattenfächer 11 entspricht;
- Plattenfächer 15b, der den Plattenfächer 15 entspricht sowie
- Fokussierelement oder Sammellinse 17.

Das Mikrolinsenarrey 18 besteht bei der dargestellten Ausführungsform aus einer Vielzahl von als Zylinderlinsen wirkenden optischen Elementen oder Zylinderlinsen 19, die mit ihrer Achse in der Y-Achse, d. h. senkrecht zur aktiven Schicht der Emittier der Laserbarren 4 orientiert sind. Die Zylinderlinsen 19 sind so angeordnet, daß jeweils mehrere Zylinderlinsen 19 in Richtung der X-Achse in einer Reihe aneinander anschließen und hierbei vorzugsweise zu einem Linsenelement zusammengefaßt sind. Jedem Laserbarren 4 oder jeder Emittierebene ist eine solche Reihe zugeordnet. Bei der dargestellten Ausführungsform ist die Anzahl der Zylinderlinsen 19 in jeder, sich in Richtung der X-Achse erstreckenden Reihe gleich der Anzahl der Platten des Plattenfächers 11b.

Die Anzahl der Platten des Plattenfächers 15b ist wiederum gleich dem Produkt aus Anzahl der Platten des Plattenfächers 11b und der Anzahl der Ebenen der Laserbarren 4 bzw. der Emittierebenen der Laserdiodenanordnung 2a. Bei der dargestellten Ausführungsform beträgt also die Anzahl der Platten des Plattenfächers 15b bei insgesamt vier Emittierebenen und fünf Platten des Plattenfächers 11b zwanzig.

Die Fig. 9 und 10 zeigen als weitere mögliche Ausführungsform einen Diodenlaser 1c, der wiederum die der Laserdiodenanordnung 2a entsprechende Laserdiodenanordnung 2c mit vier in unterschiedlichen Ebenen angeordneten Laserbarren 4 aufweist sowie die Laseroptik 8c, die im Strahlengang auf die Laserdiodenanordnung 2c folgend die Fast-Axis-Kollimatoren 6, das Mikrolinsen-Arrey 18 mit den Reihen der Zylinderlinsen 19, die beiden den Plattenfächer 11a entsprechenden Plattenfächer 11c sowie den dem Plattenfächer 15a entsprechenden Plattenfächer 15c aufweist, d. h. die Laseroptik 8c entspricht der Laseroptik 8a, allerdings mit dem Unterschied, daß anstelle der als Slow-Axis-Kollimator dienenden Zylinderlinse 16 die Slow-Axis-Kollimation wiederum vor dem ersten Plattenfächer 11c durch das Linsenarrey 18 erfolgt.

Die Fig. 11 und 12 zeigen einen Diodenlaser 1d, der sich von dem Diodenlaser 1c im wesentlichen nur dadurch unterscheidet, daß das Linsenarrey 18 zur Slow-Axis-Kollimation im Strahlengang vor dem Fast-Axis-Kollimatoren 6 angeordnet ist. Die Plattenfächer 11d bzw. 15d entsprechen wiederum den Plattenfächern 11c bzw. 15c.

Die Erfindung wurde voranstehend an Ausführungsbeispielen beschrieben. Es versteht sich, daß zahlreiche Änderungen sowie Abwandlungen möglich sind, ohne daß dadurch der der Erfindung zugrundeliegende Erfindungsgedanke verlassen wird. So wurde vorstehend davon ausge-

gangen, daß in jeder Ebene der Laserdiodenanordnung ein Laserbarren 4 vorgesehen ist. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, in jeder Ebene mehrere derartige Barren in der X-Achse aufeinander folgend vorzusehen und/oder zwei oder mehr als drei derartige Ebenen zu verwenden. Weiterhin ist es beispielsweise auch möglich, anstelle von mehreren, jeweils in Reihen angeordneten Zylinderlinsen 19 ein Mikrolinsen-Arrey für die Slow-Axis-Kollimation zu verwenden, bei der für sämtliche Emittierebenen oder aber für einen Teil oder eine Gruppe solcher Emittierebenen durchgehende, d. h. sich in Richtung der Y-Achse erstreckende Zylinderlinsenelemente vorgesehen sind, wobei die im Zusammenhang mit den Fig. 7–12 beschriebene Ausbildung allerdings den Vorteil einer individuellen Justierbarkeit der Zylinderlinsen oder Zylinderlinsenarrangements hat.

Bezugszeichenliste

- 1, 1a, 1b, 1c, 1d Diodenlaser
- 2, 2a, 2b, 2c, 2d Laserdiodenanordnung
- 3 Substrat
- 4 Laserbarren
- 5 Fokus
- 6 Fast-Axis-Kollimator
- 7 Laserstrahl
- 7' Teilstrahl
- 7'' Umgeformter Strahl
- 8, 8a, 8b, 8c, 8d Laseroptik
- 9 Teilstrahlgruppe
- 10 Fokussieranordnung
- 11a, 11b, 11c, 11d Plattenfächer
- 12 Platte
- 13, 14 Schmalseite
- 15, 15a, 15b, 15c, 15d Plattenfächer
- 15' Einzelplattenfächer
- 16 Zylinderlinse
- 17 Sammellinse
- 18 Mikrolinsen-Arrey
- 19 Zylinderlinsen
- X-Achse
- Y-Achse
- Z-Achse
- X-Z-Ebene, Y-Z-Ebene
- X-Y-Ebene
- x, x' Abmessung
- y Abstand
- y', y'' Höhe

Patentansprüche

1. Laseroptik zum Umformen der Laserstrahlen (7) von Diodenelementen oder Emittieren einer Laserdiodenanordnung (2, 2a, 2b, 2c, 2d), die (Diodenelemente oder Emittier) als Emittiergruppe (4) jeweils in einer Emittierebene (X-Z-Ebene) und in einer Achse (X-Achse) auf einander folgend angeordnet sind, mit wenigstens zwei in einer optischen Achse (Z-Achse) aufeinander folgend angeordneten Umformelementen (11, 11a, 11b, 11c, 11d; 15, 15a, 15b, 15c, 15d), von denen wenigstens eines ein durchstrahlbares Element ist und ein erstes Umformelement (11, 11a, 11b, 11c, 11d) eine Auffächerung des von einer Emittiergruppe (4) erzeugten Laserstrahls (7), der einen sich in einer ersten Achse (X-Achse) senkrecht zur optischen Achse (Z-Achse) erstreckenden linien- oder bandförmigen Querschnitt aufweist, in aufgefächerte Teilstrahlen (7') bewirkt, die in der ersten Achse (X-Achse) und in einer zweiten Achse (Y-Achse) gegeneinander versetzt sind,

wobei die zweite Achse (Y-Achse) senkrecht zur ersten Achse (X-Achse) und auch senkrecht zur optischen Achse (Z-Achse) liegt, wobei ein zweites optisches Umformelement ein Verschieben der Teilstrahlen (7') jeweils in einer Ebene (X-Z-Ebene) parallel zur ersten Achse (X-Achse) derart bewirkt, daß bei dem aus dem zweiten Umformelement (15, 15a, 15b, 15c, 15d) austretenden umgeformten Laserstrahl (7'') die parallelen Teilstrahlen (7') nur noch oder im wesentlichen nur noch in der zweiten Achse (Y-Achse) gegeneinander versetzt sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß in wenigstens zwei Emitterebenen (X-Z-Ebene), die parallel zueinander angeordnet und in einer Achse (Y-Achse) senkrecht zu den Emitterebenen (X-Z-Ebene) um einen Abstand (y) voneinander beabstandet sind, jeweils wenigstens eine Emittiergruppe (4) vorgesehen ist, daß die Laserstrahlen (7) jeder Emittiergruppe (4) durch ein erstes Umformelement (11, 11a, 11b, 11c, 11d) in eine eigene Teilstrahlgruppe (9) von aufgefächerten Teilstrahlen (7') umgeformt wird, daß die Teilstrahlgruppen (9) in der zweiten Achse (Y-Achse) gegeneinander versetzt sind, und daß durch das zweite Umformelement (15, 15a, 15b, 15c, 15d) die Teilstrahlen (7') sämtlicher Teilstrahlgruppen (9) zu dem aus dem zweiten Umformelement austretenden umgeformten Laserstrahl (7'') umgeformt werden.

2. Laseroptik nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die durch das erste Umformelement (11, 11a, 11b, 11c, 11d) gebildeten Teilstrahlgruppen (9) derart in der zweiten Achse (Y-Achse) versetzt sind, und daß der Abstand (y') zwischen jeweils gleichartigen Teilstrahlen (7') benachbarter Gruppen (9) dem Abstand (y) der Emitterebenen (X-Z-Ebene) der Laserdiodenanordnung (2, 2a, 2b, 2c, 2d) entspricht.

3. Laseroptik nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Emittiergruppen jeweils von einem mehrere Emittier aufweisenden Laserbarren (4) gebildet ist.

4. Laseroptik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in jeder Emittierebene (X-Z-Ebene) eine Emittiergruppe (4) vorgesehen ist.

5. Laseroptik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Umformelement von wenigstens einem ersten Plattenfächer (11, 11a, 11b, 11c, 11d) gebildet ist.

6. Laseroptik nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Plattenfächer (11, 11b) für sämtliche Emittierebenen gemeinsam vorgesehen ist.

7. Laseroptik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Umformelement von wenigstens einem zweiten Plattenfächer (15, 15a, 15b, 15c, 15d) gebildet ist.

8. Laseroptik nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Plattenfächer (15, 15a, 15b, 15c, 15d) für sämtliche Teilstrahlgruppen (9) der durch das erste Umformelement (11, 11a, 11b, 11c, 11d) umgeformten Laserstrahlen (7) gemeinsam vorgesehen ist.

9. Laseroptik nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Plattenfächer (15, 15a, 15b, 15c, 15d) aus mehreren aneinander anschließenden Einzelplattenfächern (15') besteht und beispielsweise für jede Teilstrahlgruppe (9) einen Einzelplattenfächer (15') aufweist.

10. Laseroptik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Plattenfächer (15, 15a, 15b, 15c, 15d) eine Vielzahl von Platten (12) aus einem lichtdurchlässigen Material auf-

weist, und daß die Anzahl dieser Platten (12) gleich der Anzahl der durch das erste Umformelement gebildeten Teilstrahlen (7') ist.

11. Laseroptik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Plattenfächer (15, 15a, 15b, 15c, 15d) eine Vielzahl von Platten (12) aus einem lichtdurchlässigen Material aufweist, und daß die Anzahl dieser Platten (12) gleich der Anzahl der Emittierebenen (X-Z-Ebene) multipliziert mit der Anzahl der Platten (12) ist, die der wenigstens eine erste Plattenfächer (11, 11a, 11b, 11c, 11d) jeweils aufweist.

12. Laseroptik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch Kollimatoren (6, 16) im Strahlengang der Laserlichtstrahlung.

13. Laseroptik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Fokussioptik (17) zum Fokussieren des umgeformten Laserstrahls (7'') in einem Fokus (5).

14. Laseroptik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Fast-Axis-Kollimatoren (6) im Strahlengang der Laserlichtstrahlung vor dem ersten Umformelement (11, 11a, 11b, 11c, 11d) vorgesehen sind.

15. Laseroptik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Slow-Axis-Kollimator (16) im Strahlengang nach dem zweiten Umformelement (15, 15a) vorgesehen ist.

16. Laseroptik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Strahlengang der Laserlichtstrahlung vor dem ersten Umformelement (11b, 11c, 11d) eine als Slow-Axis-Kollimator wirkende Linsenanordnung bzw. Microlinsenarray (18) vorgesehen ist.

17. Diodenlaser mit einer Laserdiodenanordnung (2, 2a, 2b, 2c, 2d) und einer Laseroptik zum Umformen der Laserstrahlen (7) von Diodenelementen oder Emittieren dieser Laserdiodenanordnung (2, 2a, 2b, 2c, 2d), die (Diodenelemente oder Emittier) als Emittiergruppe (4) jeweils in einer Emittierebene (X-Z-Ebene) und in einer Achse (X-Achse) auf einander folgend angeordnet sind, mit wenigstens zwei in einer optischen Achse (Z-Achse) aufeinander folgend angeordneten Umformelementen (11, 11a, 11b, 11c, 11d; 15, 15a, 15b, 15c, 15d), von denen wenigstens eines ein durchstrahlbares Element ist und ein erstes Umformelement (11, 11a, 11b, 11c, 11d) eine Auffächerung des von einer Emittiergruppe (4) erzeugten Laserstrahls (7), der einen sich in einer ersten Achse (X-Achse) senkrecht zur optischen Achse (Z-Achse) erstreckenden linien- oder bandförmigen Querschnitt aufweist, in aufgefächerte Teilstrahlen (7') bewirkt, die in der ersten Achse (X-Achse) und in einer zweiten Achse (Y-Achse) gegeneinander versetzt sind, wobei die zweite Achse (Y-Achse) senkrecht zur ersten Achse (X-Achse) und auch senkrecht zur optischen Achse (Z-Achse) liegt, wobei ein zweites optisches Umformelement ein Verschieben der Teilstrahlen (7') jeweils in einer Ebene (X-Z-Ebene) parallel zur ersten Achse (X-Achse) derart bewirkt, daß bei dem aus dem zweiten Umformelement (15, 15a, 15b, 15c, 15d) austretenden umgeformten Laserstrahl (7'') die parallelen Teilstrahlen (7') nur noch oder im wesentlichen nur noch in der zweiten Achse (Y-Achse) gegeneinander versetzt sind, dadurch gekennzeichnet, daß in wenigstens zwei Emittierebenen (X-Z-Ebene), die parallel zueinander angeordnet und in einer Achse (Y-Achse) senkrecht zu den Emittierebenen (X-Z-Ebene) um einen Abstand (y) voneinander

beabstandet sind, jeweils wenigstens eine Emittiergruppe (4) vorgesehen ist daß die Laserstrahlen (7) jeder Emittiergruppe (4) durch ein erstes Umformelement (11, 11a, 11b, 11c, 11d) in eine eigene Teilstrahlgruppe (9) von aufgefächerten Teilstrahlen (7') umgeformt wird, daß die Teilstrahlgruppen (9) in der zweiten Achse (Y-Achse) gegeneinander versetzt sind, und daß durch das zweite Umformelement (15, 15a, 15b, 15c, 15d) die Teilstrahlen (7') sämtlicher Teilstrahlgruppen (9) zu dem aus den zweiten Umformelement austretenden umgeformten Laserstrahl (7'') umgeformt werden.

18. Diodenlaser nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die durch das erste Umformelement (11, 11a, 11b, 11c, 11d) gebildeten Teilstrahlgruppen (9) derart in der zweiten Achse (Y-Achse) versetzt sind, und daß der Abstand (y') zwischen jeweils gleichartigen Teilstrahlen (7') benachbarter Gruppen (9) dem Abstand (y) der Emittierebenen (X-Z-Ebene) der Laserdiodenanordnung (2, 2a, 2b, 2c, 2d) entspricht.

19. Diodenlaser nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Emittiergruppen jeweils von einem mehrere Emittier aufweisenden Laserbarren (4) gebildet ist.

20. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in jeder Emittierebene (X-Z-Ebene) eine Emittiergruppe (4) vorgesehen ist.

21. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Umformelement von wenigstens einem ersten Plattenfächer (11, 11a, 11b, 11c, 11d) gebildet ist.

22. Diodenlaser nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Plattenfächer (11, 11b) für sämtliche Emittierebenen gemeinsam vorgesehen ist.

23. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Umformelement von wenigstens einem zweiten Plattenfächer (15, 15a, 15b, 15c, 15d) gebildet ist.

24. Diodenlaser nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Plattenfächer (15, 15a, 15b, 15c, 15d) für sämtliche Teilstrahlgruppen (9) der durch das erste Umformelement (11, 11a, 11b, 11c, 11d) umgeformten Laserstrahlen (7) gemeinsam vorgesehen ist.

25. Diodenlaser nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Plattenfächer (15, 15a, 15b, 15c, 15d) aus mehreren aneinander anschließenden Einzelplattenfächern (15') besteht und beispielsweise für jede Teilstrahlgruppe (9) einen Einzelplattenfächer (15') aufweist.

26. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Plattenfächer (15, 15a, 15b, 15c, 15d) eine Vielzahl von Platten (12) aus einem lichtdurchlässigen Material aufweist, und daß die Anzahl dieser Platten (12) gleich der Anzahl der durch das erste Umformelement gebildeten Teilstrahlen (7) ist.

27. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Plattenfächer (15, 15a, 15b, 15c, 15d) eine Vielzahl von Platten (12) aus einem lichtdurchlässigen Material aufweist, und daß die Anzahl dieser Platten (12) gleich der Anzahl der Emittierebenen (X-Z-Ebene) multipliziert mit der Anzahl der Platten (12) ist, die der wenigstens eine erste Plattenfächer (11, 11a, 11b, 11c, 11d) jeweils aufweist.

28. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch Kollimatoren (6, 16) im

Strahlengang der Laserlichtstrahlung.

29. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Fokussieroptik (17) zum Fokussieren des umgeformten Laserstrahls (7'') in einem Fokus (5).

30. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Fast-Axis-Kollimatoren (6) im Strahlengang der Laserlichtstrahlung vor dem ersten Umformelement (11, 11a, 11b, 11c, 11d) vorgesehen sind.

31. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Slow-Axis-Kollimator (16) im Strahlengang nach dem zweiten Umformelement (15, 15a) vorgesehen ist.

32. Diodenlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Strahlengang der Laserlichtstrahlung vor dem ersten Umformelement (11b, 11c, 11d) eine als Slow-Axis-Kollimator wirkende Linsenanordnung bzw. Microlinsenarray (18) vorgesehen ist.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig.1

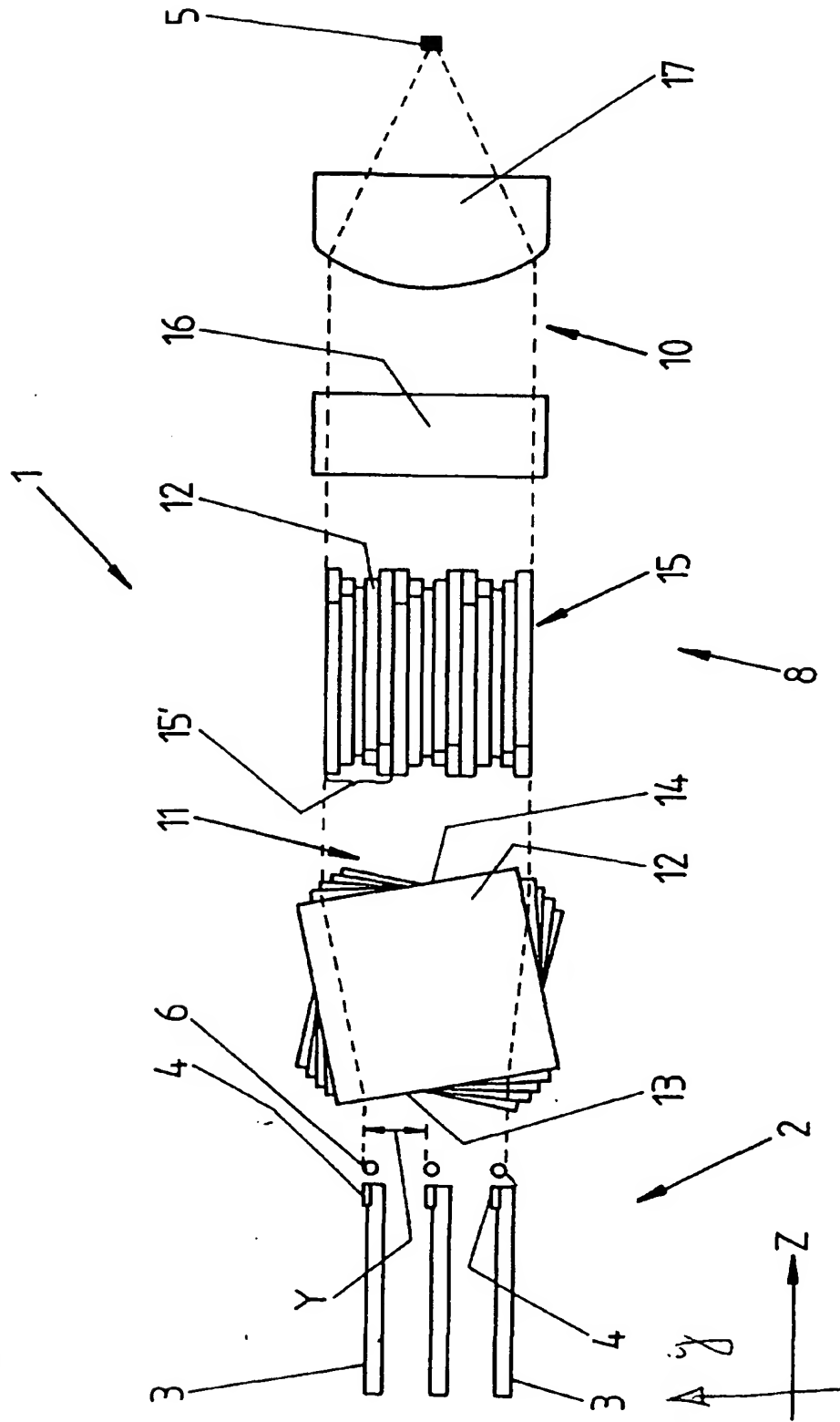
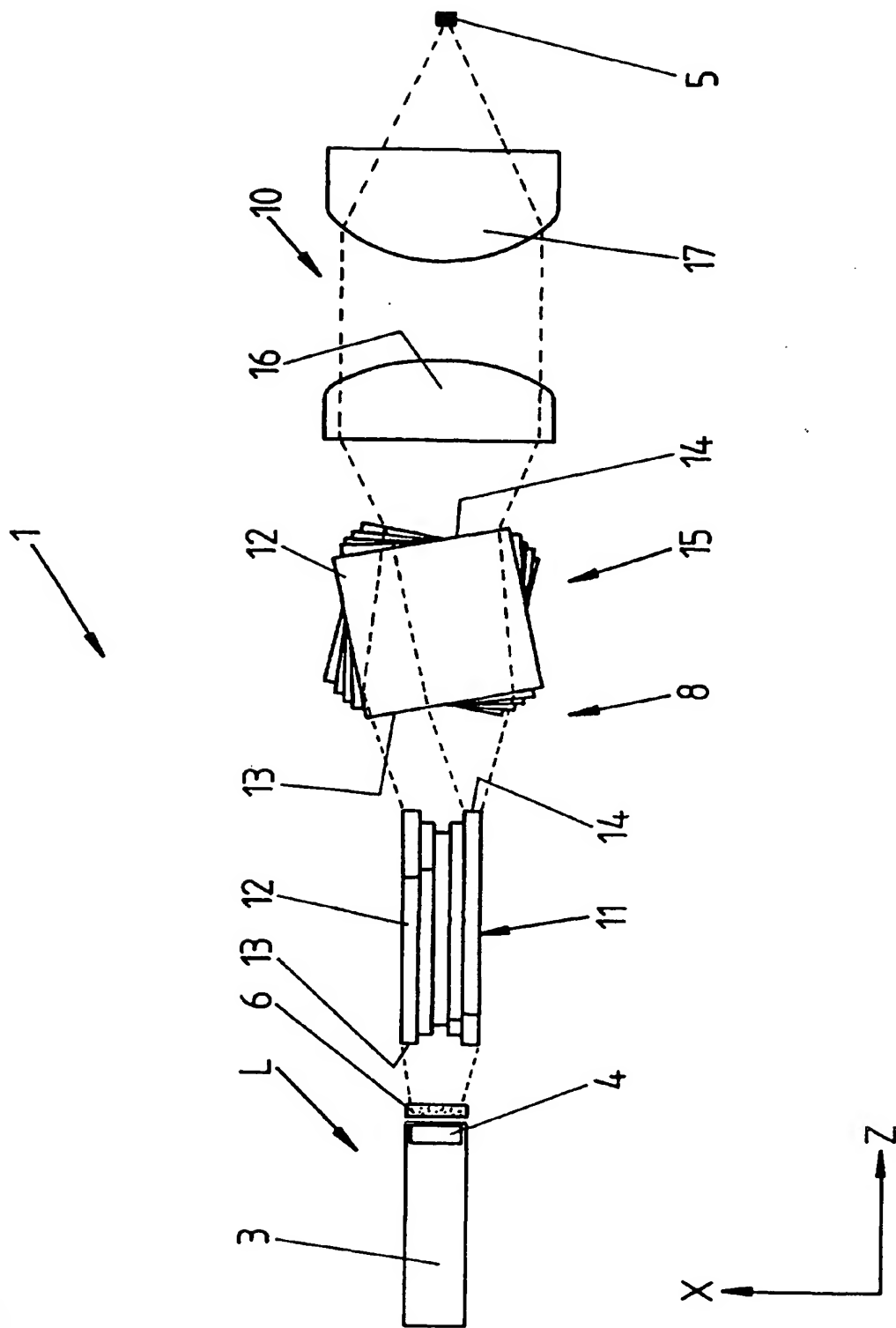


Fig. 2



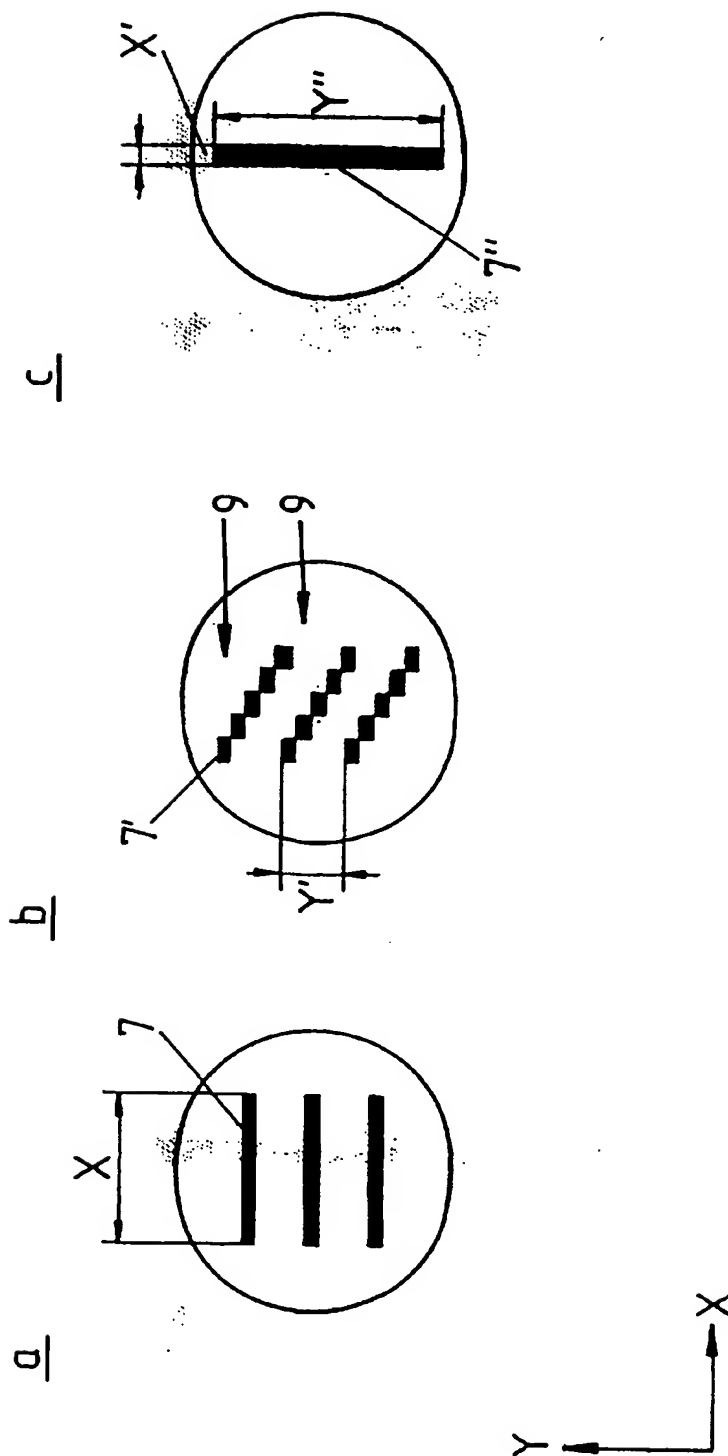


Fig 3

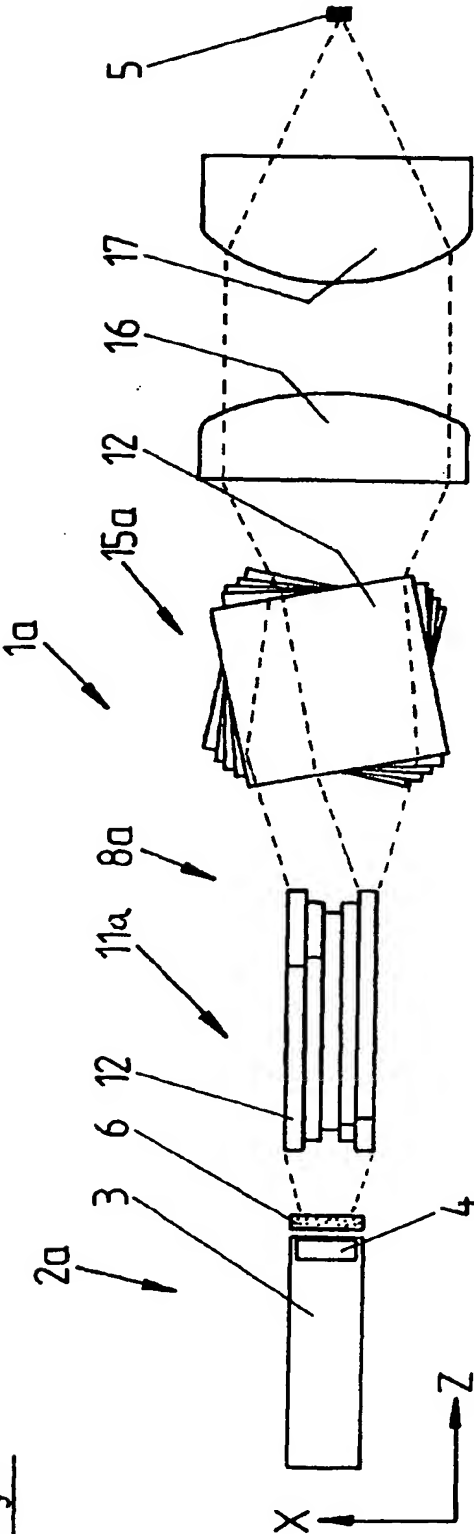
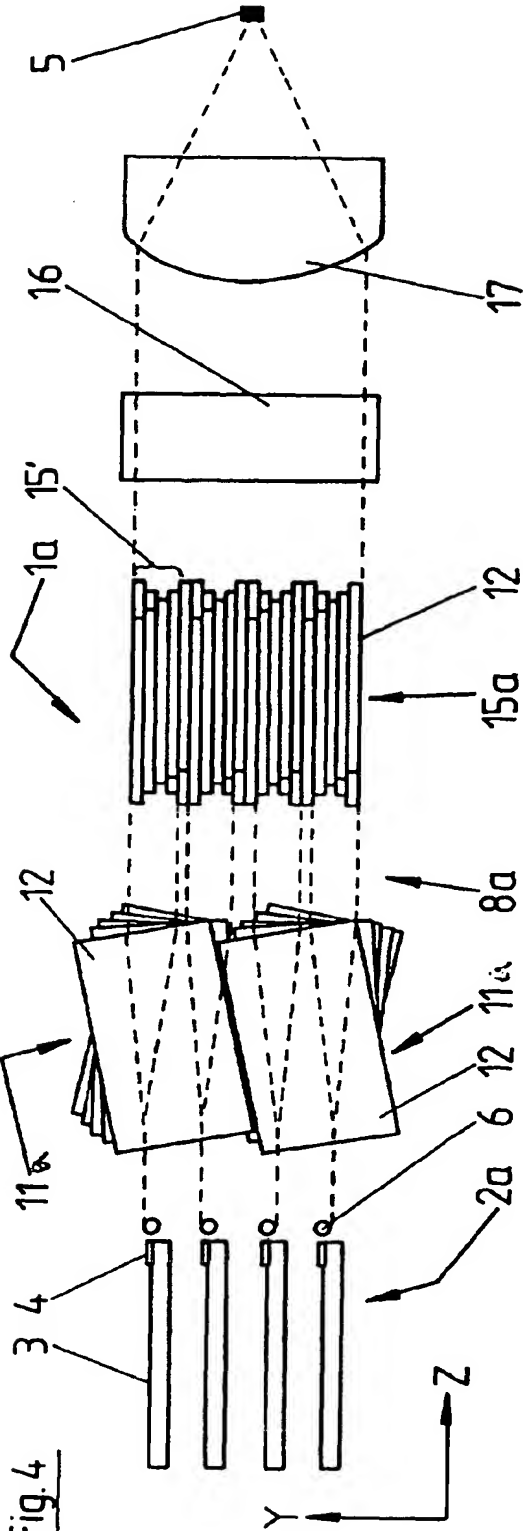


Fig. 6

